



**LISBOA
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT**

MESTRADO

CONTABILIDADE, FISCALIDADE E FINANÇAS EMPRESARIAIS

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

**PROBLEMAS DE TRANSPORTE DE MERCADORIAS – APLICAÇÃO AO
CASO DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA**

ANTÓNIO MIGUEL CARDEIRA RAMOS OLIVEIRA

OUTUBRO - 2014



**LISBOA
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT**

**MESTRADO EM
CONTABILIDADE, FISCALIDADE E FINANÇAS EMPRESARIAIS**

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
TRABALHO DE PROJETO

**PROBLEMAS DE TRANSPORTE DE MERCADORIAS – APLICAÇÃO AO
CASO DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA**

ANTÓNIO MIGUEL CARDEIRA RAMOS OLIVEIRA

ORIENTAÇÃO:

**PROFESSORA DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE
MOURÃO**

**TENENTE ADMINISTRADOR AERONÁUTICO CARLA LÍGIA FERREIRA DOS
SANTOS**

OUTUBRO - 2014

AGRADECIMENTOS

Expresso os meus sinceros agradecimentos a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão, pela sua constante disponibilidade, preocupação e apoio ao longo de todo o desenrolar do trabalho e pela sua partilha de conhecimentos e orientação científica.

À minha coorientadora, Tenente Administrador Aeronáutico Carla Lígia Ferreira dos Santos, pela sua incansável disponibilidade e motivação ao longo de todo o trabalho, pelos contatos realizados e pela indicação de importantes fontes de informação dentro da organização.

Aos meus Diretores de Curso, Tenente-Coronel Jorge Pimentel e Capitão Helga Novais pela constante preocupação e paciência desde o primeiro até ao último dia desta tão importante fase.

A todos os entrevistados, pela sua colaboração e disponibilização da informação necessária: Tenente-Coronel Diná Azevedo, Major Jorge Gonçalves, Tenente-Coronel Pedro Bernardino, Tenente-Coronel João Carita, Capitão Rui Ramos, Tenente Vítor Silva, Tenente Pedro Luís, e Filipe Vieira.

Aos meus camaradas de especialidade que de perto me acompanharam e juntos ultrapassámos todos os obstáculos, Pires, Ferreira, Fernandes e Silva.

Um muito obrigado também aos camaradas Hugo Costa e João Malico pelo apoio e motivação nos momentos mais difíceis.

RESUMO

O objetivo da logística é disponibilizar às partes interessadas os produtos e serviços de que necessitam, no momento e espaço pretendidos e nas quantidades determinadas. Sendo a logística uma função de distribuição, pretende-se escolher os meios que melhor se adaptam ao cumprimento de uma determinada tarefa. No âmbito militar, “A Logística é o ramo dos conhecimentos militares que tem por fim proporcionar às Forças Armadas os meios humanos e materiais necessários para satisfazer as exigências de guerra” (Centro de Documentação 25 de Abril – Universidade de Coimbra – Arquivo Eletrónico 15:35, 09/07/2014).

Com este trabalho estuda-se parte do sistema logístico da Força Aérea Portuguesa (FA), tendo como objetivo a redução de custos resultantes das missões de transporte para o estrangeiro, auxiliando assim, a gestão financeira e a logística de planeamento. Várias entidades do seio da FA foram contactadas com o intuito de recolher informações acerca das missões de transporte e especificações técnicas das aeronaves utilizadas nestas mesmas missões. Entidades civis de transportes de mercadorias foram também contactadas de forma a criar mais cenários possíveis. Posteriormente foi desenvolvido um modelo de programação linear inteira, visando a minimização dos custos de transporte de mercadorias. Tal é possível através da otimização e rentabilização do espaço de carga de cada meio de transporte que possa ser utilizado em cada missão, quer sejam civis, militares, ou ambos. Obteve-se desta forma uma solução para possíveis missões futuras da FA, ao menor custo possível, tendo em vista o cumprimento das obrigações inerentes ao bom funcionamento das missões nos diferentes níveis, operacional, logístico e orçamental.

Palavras-chave: logística, Força Aérea Portuguesa, investigação operacional, problema de transporte, programação linear inteira.

ABSTRACT

The logistics goal is to provide to the interested entities the products and services they need in the right amount at the required time and place. Being the logistics a distribution function, it is intended to choose the best suited means to fulfil a certain task. In the military, “Logistics is the branch of military knowledge which aims to provide the Armed Forces the human and material resources needed to meet the demands of war” (Centro de Documentação 25 de Abril – Universidade de Coimbra – Arquivo Eletrónico 15:35, 09/07/2014).

With this work is studied the Portuguese Air Force (FA) logistics system aiming the cost reduction resulting from the transport missions abroad, thus helping, the financial management and logistics planning. Several identities within the FA were contacted in order to gather information about transport missions and technical specifications of the aircraft used in these missions. Civilian transport entities were also contacted in order to create more possible scenarios. Later on an integer linear programming model was developed, aiming the costs minimization of goods transportation. This is achieved through the optimization and improvement of the cargo space of each means of transport that can be used in each mission, whether civil, military or both. Obtained in this manner a solution for possible FA future missions, at the lowest possible cost, in view of fulfil the proper functioning inherent obligations of the missions at different levels, operational, logistical and budgetary.

Keywords: logistics, Portuguese Air Force, operations research, transportation problem, integer linear programming.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
ABREVIATURAS	VIII
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Delimitação do tema	2
1.3 Metodologia	4
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 Resenha Histórica	5
2.2 Contribuição da Logística.....	6
2.3 Os Meios de Transporte na Logística	8
2.4 Investigação Operacional.....	9
CAPÍTULO III – CARATERIZAÇÃO DA ENTIDADE OBJETO DO ESTUDO	11
3.1 Força Aérea Portuguesa	12
3.2 Estrutura.....	13
3.3 Base Aérea n.º 6.....	14
3.4 Aeronaves – Conceito de operações	15
3.4.1 C-130H e C-130H-30 HERCULES	15
3.4.2 C-295M	17
3.4.3 EH-101 MERLIN	19
CAPITULO IV – MEIOS DE TRANSPORTE.....	20

4.1 Caraterísticas dos meios de transporte	20
4.2 Transporte aéreo	22
4.3 Transporte marítimo	23
4.4 Via aérea vs. Via marítima	24
CAPITULO V – MODELO DE OTIMIZAÇÃO EM PROGRAMAÇÃO LINEAR	
INTEIRA	25
5.1 Noções de grafos	25
5.2 Problema de Transporte	26
5.3 Modelação do Problema em estudo	28
5.4 Aplicação do Modelo na Resolução do Problema	32
CAPITULO VI – CONCLUSÕES E INVESTIGAÇÕES FUTURAS.....	
REFERÊNCIAS	35
ANEXOS	39
ANEXO I – Capacidades	39
ANEXO II – Custos	40
ANEXO III – Tempos de viagem (Portugal-Destino)	41
ANEXO IV – Restrições, Dados e Resultados do Modelo.....	42

ABREVIATURAS

AFA – Academia da Força Aérea

BA6 – Base Aérea n.º 6

CA – Comando Aéreo

CEMFA – Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

CEMGFA – Chefe do Estado-Maior General das Forças Armadas

CLAFA – Comando da Logística da Força Aérea

CPESFA – Comando de Pessoal da Força Aérea

CSAR – Combat Search and Rescue

CTSFA – Centro de Treino de Sobrevivência da Força Aérea

DFFA – Direção de Finanças da Força Aérea

DJFA – Departamento Jurídico da Força Aérea

EMFA – Estado-Maior da Força Aérea

FA – Força Aérea Portuguesa

GCEMFA – Gabinete do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

IGFA – Inspeção-Geral da Força Aérea

IO – Investigação Operacional

ISEG – Instituto Superior de Economia e Gestão

LR – Long Range

MARPOL – Maritime Pollution

MDN – Ministério da Defesa Nacional

MEDEVAC – Medical Evacuation

MLR – Medium Long Range

OC – Órgãos de Conselho

ONC – Órgãos de Natureza Cultural

OE – Orçamento do Estado

PT – Problema de Transporte

QP – Quadro Permanente

RCC – Rescue Coordination Centres

SAR – Search and Rescue

SIFICAP – Sistema Integrado de Vigilância, Fiscalização e Controlo das Atividades da

Pesca

TO – Teatro de Operações

VCEMFA – Vice-Chefe do Estado-Maior da Força Aérea

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

O conceito de motivação diz-nos que esta pode ser descrita como um conjunto de forças intrínsecas ao indivíduo, *“refletindo o grau sobre o qual o indivíduo decide comprometer-se com determinados comportamentos, transformando a satisfação da(s) necessidade(s) num objetivo a alcançar”* – (Doron & Parot, 2001); (Mitchell, 1982) citados por (Costa, 2012).

Um dos principais fatores motivadores que levou o discente à escolha deste tema, é o amplo interesse pela área de investigação operacional aplicada à logística, tendo este sido cativado para esta matéria durante as aulas de Investigação Operacional e Gestão da Produção e Operações lecionadas durante o curso de Licenciatura em Gestão no Instituto Superior de Economia e Gestão (ISEG). Uma outra fonte de motivação é a capacidade e disponibilidade de poder utilizar os conhecimentos adquiridos em prol da Força Aérea Portuguesa (FA), organização na qual exerce atividade atualmente, *“este processo encoraja o indivíduo a realizar determinadas ações que o ajudam a alcançar a eficácia numa tarefa e a cimentar o seu compromisso com a organização”* – (Saleem, Mahmood, & Mahomood, 2010) citados por (Costa, 2012).

As distâncias percorridas pelas mercadorias ao longo da cadeia logística são cada vez maiores fazendo com que os meios de transporte assumam uma grande importância para o bom funcionamento da mesma. Uma gestão eficiente de uma rede de transportes, que permita satisfazer a procura num determinado período de tempo, é pois essencial para o cumprimento da missão por parte de qualquer organização.

Existem diferentes alternativas de transporte, todas elas contendo quer vantagens quer desvantagens. Como a FA realiza missões no estrangeiro, tendo de prestar apoio a longas distâncias, as modalidades de transporte escolhidas e que melhor se adequam para a realização dos seus objetivos são: a via aérea e a via marítima.

Estabelece-se, como objetivo principal, reduzir custos e otimizar os diferentes meios de transporte para as várias missões da FA, nunca esquecendo as obrigações a cumprir e que fazem parte de todo e qualquer processo de gestão, quer sejam a nível operacional, logístico ou orçamental.

1.2 Delimitação do tema

A Força Aérea Portuguesa executa diferentes tipos de missões:

- Instrução elementar, básica e avançada de pilotagem e conversão operacional para aviões de combate;
- Operações de defesa aérea e ataque convencional;
- Operações de transporte aéreo e de busca e salvamento;
- Vigilância marítima, reconhecimento e fotografia aérea.

Contudo, neste trabalho foi necessário restringir o universo de missões a que a FA está apta a participar, tendo apenas em foco as missões de transporte aéreo e as respetivas aeronaves que nelas participam. A escolha recaiu sobre as que mais impacto têm a diferentes níveis.

Primeiramente foi necessário estudar o tipo de missão que cada esquadra é capaz de realizar, constituindo posteriormente pequenos grupos que se distinguiam entre si conforme as suas valências. Vários grupos foram excluídos pois não reuniam as condições necessárias e não apresentavam valores relevantes para o estudo em causa. Outro objetivo era o de poder estudar missões que tivessem impacto a nível

internacional, pois o esforço prestado pela organização seria maior, quer ao nível humano, quer ao nível material. Teriam pois que ser missões cujo impacto no Orçamento do Estado (OE) para a FA fosse significativo. Por último, era necessário que as missões tivessem uma grande cadeia logística por detrás. No final de todas as considerações tomadas, optou-se então por se estudar as missões de transporte aéreo, como referido acima.

No universo da FA existem quatro Esquadras de Voo capazes de realizar missões de transporte aéreo e cada uma tem o seu modelo de aeronave. A *Esquadra 501 – Bisontes* opera os aviões *Lockheed C-130H* e o *Lockheed C-130H-30*, que diferem na capacidade de carga e peso a transportar; a *Esquadra 502 – Elefantes* opera o avião *EADS C-295M*; a *Esquadra 504 – Linces* opera o *Marcel-Dassault Falcon 50*; e, por último, a *Esquadra 751 – Pumas* que opera o helicóptero *Agusta-Westland EH-101 Merlin*. Contudo, foi necessário excluir a *Esquadra 504* pois as missões por esta realizadas são financiadas pelo OE e não pelo OE para a FA, não tendo assim qualquer impacto financeiro para a organização.

O modelo proposto neste trabalho surge na sequência do (Santos, 2012) e poderá servir para fazer uma análise de dados às missões já realizadas, com o objetivo de observar e clarificar se algo poderia ter sido feito para a otimização dos processos intrínsecos das mesmas. Em relação às missões já programadas e ainda não realizadas, ou mesmo para missões ainda não planeadas, procura-se que este projeto seja útil e sirva de base para o seu melhor planeamento.

Pretende-se que este modelo de otimização, envolvendo modelos de programação linear inteira, possa ser utilizado nos anos futuros e possa também ser aplicado em outros tipos de missões que a FA pratique e participe, otimizando assim os seus recursos humanos, materiais e financeiros.

1.3 Metodologia

Foram várias as fases e métodos utilizados durante a elaboração deste trabalho. Várias entrevistas informais foram realizadas aos Comandantes das respectivas Esquadras de Voo participantes neste projeto, com o intuito de apreender e colmatar várias dúvidas referentes às características das diferentes aeronaves. Foram facultados e consultados vários manuais específicos para as diferentes configurações que cada compartimento de carga de cada aeronave pode tomar. Legislação avulsa sobre a estrutura e missão da FA e respectivas Esquadras de Voo foi também consultada. Várias entidades civis de transporte de mercadorias foram contactadas. Posteriormente foram criadas várias variáveis exógenas e endógenas, assim como vários parâmetros, tendo sido depois inseridos num modelo de programação linear inteira desenvolvido para o efeito.

Hoje em dia, um dos principais objetivos de qualquer organização é o da redução das suas despesas, podendo a otimização dos seus processos ser encarada como uma das abordagens. Neste estudo utiliza-se o caso concreto do “problema de transporte”. O problema de transportes surgiu nos meados do século XVIII por Gaspard Monge, um matemático francês.

“Em particular, o problema geral de transporte preocupa-se (literalmente e figurativamente) com a distribuição de qualquer mercadoria a partir de qualquer grupo de centros de abastecimento, chamados origens, para qualquer grupo de centros recetores, chamados destinos, de maneira a minimizar o custo total de distribuição”.

In (Hillier & Lieberman, 2010)

Como já foi dito, os modos de transportes em estudo neste trabalho são o marítimo e o aéreo.

CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Resenha Histórica

Segundo (Hillier & Lieberman, 2010), a Investigação Operacional (IO) surgiu com Charles Babbage (1791 – 1871), cientista e matemático inglês, conhecido como o pai dos computadores. Este autor estudou o custo de transporte e ordenação de cartas enviadas pelo correio em Inglaterra, no ano de 1840. Contudo, foi durante a Segunda Guerra Mundial, que americanos e ingleses contribuíram para um grande avanço na IO. O objetivo era tomar melhores decisões em áreas como a logística e horários de treinos.

Destacam-se de seguida dois dos estudos realizados:

- A Grã-Bretanha introduziu o sistema de comboio para reduzir as perdas de transporte, mas enquanto o princípio da utilização de navios de guerra para escoltar os navios mercantes era geralmente aceite, não ficou claro quanto ao tamanho a utilizar do comboio, ou seja, se deveria ser grande ou pequeno. Os comboios viajam à velocidade do “membro” mais lento, assim, pequenos comboios podem viajar mais rápido. Foi também argumentado que pequenos comboios seriam mais difíceis de detetar pelos submarinos alemães. Por outro lado, um comboio grande teria mais navios de guerra para fazer face ao inimigo. Descobriu-se que as perdas sofridas dependiam do número de navios de escolta presentes, ao invés

do tamanho total do comboio. Chegou-se então à conclusão que os comboios grandes são mais defensáveis que os pequenos.

- O Comando de Bombardeiros da RAF inspecionou os aviões bombardeiros que voaram sobre a Alemanha e que conseguiram regressar a salvo, durante um determinado período de tempo. Foi recomendado adicionar mais blindagem às áreas dos aviões que teriam sido fortemente danificadas pelas defesas aéreas alemãs. A equipa de Pesquisa Operacional, por outro lado, fez uma recomendação surpreendente dizendo que se deveria colocar mais blindagem nas áreas que não tinham sido alvo de dano. A equipa argumentou que a pesquisa não estava correta, uma vez que apenas incluía aeronaves que tinham regressado da Alemanha com sucesso e também que as áreas que não tinham sido danificadas seriam provavelmente as áreas vitais que se atingidas resultariam na perda da aeronave.

2.2 Contribuição da Logística

(Mangan, Lalwani, Butcher, & Javadpour, 2011) definem a logística como a gestão do fluxo de recursos de um ponto de origem para um ponto de consumo, com o objetivo de disponibilizar esses recursos na quantidade adequada, no tempo e locais certos, satisfazendo os requisitos de qualidade exigidos pelo consumidor.

“A logística é o processo de administrar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, peças e produtos acabados e os fluxos de informação correlacionados através da organização e dos seus canais de marketing, de

modo a poder maximizar os lucros presentes e futuros através do despacho dos pedidos a baixo custo”.

In (Christopher, 2011)

Já em 1985 (Daskin, 1985) afirma que a logística veio ajudar o processo de distribuição, planeamento e operação dos sistemas físicos com o objetivo de otimizar as condicionantes espaciais e temporais de forma a reduzir os custos inerentes às mesmas. A logística é então utilizada como objeto de estudo para a solução de problemas operacionais.

Mais recentemente, (Christopher, 2011) afirma que o processo logístico veio ajudar as organizações a alinhar as suas estratégias de acordo com os seus principais objetivos. Através do planeamento, a logística visa reduzir os custos operacionais, contribuindo assim para o crescimento do negócio das empresas (Bowersox & Closs, 1996).

Com a globalização dos mercados e o aumento da concorrência em todos os segmentos, a logística traz-nos grandes vantagens competitivas. O sucesso de muitas empresas não se deve apenas aos avanços tecnológicos, mas também, aos ganhos logísticos em comparação à concorrência (Graciolii, 1998).

Ao ramo da logística que reúne as atividades de movimentação interna, armazenagem e transporte de produtos acabados e semiacabados dá-se o nome de distribuição física (Daskin, 1985). Segundo (Ballou, 2004) a otimização da distribuição física abrange os níveis estratégicos, táticos e operacionais. No nível estratégico é decidido o número e a localização de armazéns, os meios de transporte a utilizar e os canais de distribuição da empresa; o nível tático inclui a utilização de recursos e o planeamento a curto prazo, por exemplo, investir em parte do sistema de distribuição

garantindo a sua eficiência; no nível operacional procura-se que haja um fluxo otimizado do canal de distribuição através da constante realização de tarefas e da supervisão, com o objetivo de que os produtos sejam entregues no sítio certo, no momento certo.

Assim, podemos concluir que a gestão logística tem influência nos custos de um produto. Como tal, é fundamental a redução de desperdícios nos processos logísticos de forma a reduzir os custos totais. (Rushton, Croucher, & Baker, 2006) desenvolveram uma abordagem mais ampla, que designaram por “Gestão da Cadeia de Abastecimento”. Desde então, esta passou a ser um elemento fundamental para o bom funcionamento de qualquer organização, sendo responsável pelo planeamento, implementação e supervisionamento do fluxo de bens, serviços e informação desde a origem até ao destino, satisfazendo as necessidades do consumidor final. Fornecedores e clientes fazem parte integrante do conceito de gestão da cadeia de abastecimento. De facto, é consensual que qualquer organização para ter sucesso deve apostar numa forte relação com os seus parceiros de forma a melhorar o seu desempenho geral. (Lambert & Cooper, 2000), no que respeita à gestão empresarial, dizem que deixou de haver concorrência entre empresas ou entre marcas, passando a haver sim, competição entre cadeias de abastecimento.

2.3 Os Meios de Transporte na Logística

O rápido crescimento económico e industrial, assim como o desenvolvimento das tecnologias de comunicação e a descentralização dos centros de produção, originaram uma diminuição de produtos anteriormente guardados em armazéns, por contrapartida de uma maior movimentação dos mesmos (Zografos & Giannouli, 2002). Deste modo, os fluxos de produtos aumentaram, passando a fazer-se encomendas mais

pequenas e mais frequentes, exigindo prazos de entrega também mais curtos. (Carvalho, 2010) refere que foi necessário aumentar a distância percorrida pelas matérias-primas e pelos produtos de forma a responder às necessidades de um mercado cada vez mais vasto. Estes fatores levam a que as organizações sejam muito dependentes dos meios de transporte. (Tseng, Yue, & Taylor, 2005) referem que aproximadamente dois terços dos custos logísticos totais provêm dos transportes. Segundo (Carvalho, 2010), o sucesso de uma cadeia de abastecimento depende muito da gestão que é feita ao nível dos transportes. Como exemplos destas opções com grande impacto nos custos podem referir-se a escolha do transporte a utilizar, as rotas traçadas, ou mesmo a opção de subcontratação deste tipo de serviços. Para (Kasilingam, 1998) os meios de transporte representam a ligação entre a produção, o armazenamento e o consumo, pois, é através deles que a matéria-prima é levada para as fábricas e que o produto final é distribuído pelos consumidores. Os principais objetivos de uma boa gestão de transportes são:

- Redução de tempos de trânsito,
- Entrega de produtos dentro do prazo,
- Redução de custos,
- Redução de danos e perdas.

2.4 Investigação Operacional

(Andrade, 2009) refere que a Investigação Operacional (IO) fornece instrumentos para a análise de decisões e é aplicada a problemas que visam administrar e coordenar operações. *“Pesquisa Operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisão, tais como projetar, planear e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos”* (Arenales, M. et al, 2007).

São várias as definições que têm surgido. (Ackoff & Sasieni, 1974) destacam três pontos comuns a todas as definições de IO:

- Consiste na aplicação de um método científico;
- Recorre a equipas interdisciplinares;
- Visa a obtenção de soluções que satisfaçam os objetivos da organização.

“Outra característica importante da Investigação Operacional, que facilita muito o processo de tomada de decisão, é a utilização de modelos. Essa abordagem permite a experimentação, ou seja, a possibilidade de uma tomada de decisão ser mais bem avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada”.

In (Andrade, 2009)

A IO pode ser usada em vários processos de decisão, tais como: problemas de otimização na utilização de recursos, de localização, de alocação de pessoas e/ou bens, de previsão e planeamento da produção.

(Taha, 2010) destaca cinco fases na implementação prática da IO:

- 1. Identificação do Problema:** uma equipa de investigadores operacionais define qual o problema relevante para a organização, especifica os objetivos e as partes do sistema que devem ser estudadas antes do problema ser resolvido.
- 2. Construção do Modelo:** é desenvolvida uma representação idealizada, ou seja, um modelo matemático para a resolução do problema.
- 3. Solução do Modelo:** nesta fase são utilizados algoritmos de otimização bem definidos. Se possível, deve ter-se em atenção a análise de

sensibilidade, que indica o comportamento da solução ótima face a alterações nos parâmetros do modelo.

4. Validação do Modelo: nesta fase o analista tenta perceber se o modelo desenvolvido no ponto 2 se adequa e é mesmo representativo da realidade. A verificação inclui observar o sistema e verificar se os parâmetros se encontram corretos. Se o modelo não representar a realidade é necessária a sua readaptação ou a construção de um novo modelo.

5. Implementação da Solução: a solução de um modelo válido requer a translação dos resultados para instruções operacionais que sejam perceptíveis pelas pessoas que implementarão o sistema recomendado. Se os decisores da organização não estiverem de acordo com as medidas a tomar, o analista terá de descobrir onde se situa a discordância e repetir os passos necessários novamente.

Os tópicos acima foram tidos em conta na realização deste trabalho. Como tal, identificou-se o problema em que se pretende reduzir os custos no transporte de mercadorias e bens, e criou-se um modelo matemático posteriormente. O modelo pode ser aplicado no futuro, não só pela FA mas também por outras organizações que queiram deslocar bens de uma origem para vários destinos, podendo optar por diferentes meios de transporte.

CAPÍTULO III – CARATERIZAÇÃO DA ENTIDADE OBJETO DO ESTUDO

3.1 Força Aérea Portuguesa

A FA é um dos três ramos das Forças Armadas. Foi criada em 1 de Julho de 1952, tornando-se assim um ramo independente. A junção da Aeronáutica Militar, pertencente até então ao Exército, com a Aeronáutica Naval, por parte da Marinha, proporcionou a criação deste ramo. É parte integrante do sistema de forças português e tem como missão *“cooperar, de forma integrada, na defesa militar da República, através da realização de operações aéreas, e na defesa do espaço aéreo nacional”*, com vista a assegurar a soberania nacional, participando também em missões militares no âmbito de compromissos internacionais e em missões de interesse público do país e das populações (Diretiva n.º 4/CEMFA/13, 2013).

A FA pretende demonstrar a terceiros a sua visão e objetivos¹, a saber:

- *Gerar poder aéreo e uma capacidade de resposta eficaz;*
- *A segurança como fator crítico da missão;*
- *O valor das pessoas;*
- *A qualidade dos meios;*
- *Uma organização ágil, flexível e inovadora;*
- *Uma cultura de serviço, empenhada no cumprimento de missão;*
- *Uma força coesa, motivada e disciplinada;*
- *Sentido de pertença; credibilidade e relevância;*
- *Prestígio nacional.*

¹ In www.emfa.pt

A FA é dotada de autonomia administrativa, integrando-se na administração direta do Estado, mais especificamente através do Ministério da Defesa Nacional (MDN).

3.2 Estrutura

A FA é comandada pelo Chefe do Estado-Maior da Força Aérea (CEMFA), que faz a ponte entre a instituição, o Ministro da Defesa Nacional e o Chefe do Estado-Maior General das Forças Armadas (CEMGFA). O CEMFA é por sua vez apoiado, no exercício das suas funções e relações com o exterior, pelo Gabinete do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea (GCEMFA). Na dependência do CEMFA encontram-se ainda vários outros órgãos, nomeadamente: i) Vice-Chefe do Estado-Maior da Força Aérea (VCEMFA), que substitui o CEMFA nos seus impedimentos e ausências, exercendo também todas as competências que lhe sejam delegadas; ii) Estado-Maior da Força Aérea (EMFA), a quem compete a conceção e planeamento de toda a atividade da FA e a responsabilidade pela aplicação das diferentes ações tomadas; iii) Departamento Jurídico da Força Aérea (DJFA) que visa dirigir e prestar apoio nos assuntos de natureza jurídica em que a FA esteja envolvida; iv) Academia da Força Aérea (AFA), cujo objetivo é formar os novos oficiais que entrarão no Quadro Permanente (QP) da FA; v) Direção de Finanças da Força Aérea (DFFA) que visa administrar os recursos financeiros à disposição da FA; vi) Órgãos de Conselho (OC), com o objetivo de auxiliar, em assuntos especiais e importantes, as decisões do CEMFA; vii) Inspeção-Geral da Força Aérea (IGFA), que visa apoiar o CEMFA no controlo, avaliação, prevenção e investigação de acidentes; viii) Órgãos de Natureza Cultural (ONC), cujo objetivo passa por recolher, conservar, estudar e colocar à disposição o património histórico-cultural aeronáutico da FA; ix) Comando de Pessoal da Força Aérea

(CPESFA) que visa administrar os recursos humanos da FA; x) Comando da Logística da Força Aérea (CLAFA) que tem como objetivo gerir os recursos materiais, de comunicações e sistemas de informação e infraestruturas da FA; xi) Comando Aéreo (CA) que apoia o exercício do comando por parte do CEMFA, preparando e aprontando as forças e meios operacionais do sistema de força para o cumprimento das missões que sejam atribuídas à FA.

3.3 Base Aérea n.º 6

A BA 6 está sobre a alçada do CA e encontra-se situada na península do Montijo, na Margem Sul do Rio Tejo. Tem como missão garantir a prontidão das Unidades Aéreas e o apoio logístico-administrativo de unidades e órgãos nelas sediados mas dependentes de outros comandos, bem como a segurança interna e a defesa imediata. Nas suas instalações encontram-se o Centro de Treino de Sobrevivência da Força Aérea (CTSFA) que visa ministrar cursos de sobrevivência e salvamento individual em ambientes de natureza nuclear, radiológica, biológica ou química, e dar formação no domínio do reconhecimento e inativação de engenhos explosivos; a Esquadrilha de Helicópteros da Marinha, criada em 1992, que recebe apoio logístico da Unidade; a Esquadra 501 com as duas variantes da aeronave C-130 HERCULES para a execução de missões de Transporte; a Esquadra 502 operando as aeronaves C-295M, efetuando missões de Transporte, Vigilância Marítima e Busca e Salvamento; a Esquadra 504 e o seu FALCON 50 que realiza transporte aéreo especial, como é o exemplo de altas entidades ou órgãos humanos; e, por último, a Esquadra 751 que opera os helicópteros EH-101 MERLIN para missões de Transporte, Busca e Salvamento, Vigilância e Reconhecimento.

3.4 Aeronaves – Conceito de operações

3.4.1 C-130H e C-130H-30 HERCULES

Segundo o (MFA 501-1, 2009), o sistema de armas C-130H desempenha ações de transporte aéreo, em quaisquer condições meteorológicas, de dia ou de noite, numa vasta variedade de ambientes. À Esquadra de Transporte Aéreo 501 estão atribuídas seis aeronaves, todas elas equipadas para operar em áreas hostis, e aptas a desempenhar missões de transporte e evacuação sanitária (*Medical Evacuation* – MEDEVAC).

As tarefas operacionais para a implementação da aeronave na FA são as seguintes:

- Executar missões atribuídas, em tempo de paz, crise ou guerra, em todos os cenários operacionais, em condições de tempo normais ou adversas a baixa e a alta altitude, de dia ou de noite;
- Executar operações de transporte aéreo estratégico e de transporte aéreo tático;
- Apoiar missões humanitárias, de interesse público e de manutenção da ligação entre Portugal continental e ilhas;
- Apoiar o comandante operacional no sentido de projetar, sustentar e retrainar a força garantindo a continuidade de operações dentro do Teatro de Operações (TO);
- Conduzir operações de evacuação aeromédica movimentando pessoal, debaixo de supervisão médica adequada, para/entre infraestruturas de tratamento médico e hospitalar;
- Apoiar operações psicológicas de desgaste da base política, social e económica do inimigo, conduzidas de forma a afetar a vontade da população civil e forças combatentes do inimigo;

- Executar missões de apoio a operações especiais;
- Executar missões de Busca e Salvamento.

As missões, no âmbito do Transporte Aéreo, consideradas para este sistema de armas são as seguintes:

- a. Transporte Aéreo Geral (Estratégico e Tático): aptidão para desenvolver ações de movimentação de pessoal, equipamento e material entre e intra TOs.
- b. Apoio a Operações Aerotransportadas: aptidão para desenvolver ações de movimentação entre e intra TOs, de largada aérea de pessoal, material e equipamento incluindo a aterragem em pistas não preparadas.
- c. Apoio a Operações Especiais: aptidão para desenvolver, de uma forma discreta, ações que causem deceção, frustração ou confusão na ação do oponente quer se trate de operações em tempo de conflito transportando equipas de operações especiais ou da largada aérea de propaganda.
- d. Evacuação Sanitária: executar tarefas de apoio neste tipo de operações na vertente de médio/longo raio de ação (*Medium Long Range – MLR*), em conjunto com unidades de outras componentes civis e militares.
- e. Busca e Salvamento (*Search and Rescue – SAR*): executar tarefas de apoio neste tipo de operação na vertente de longo raio de ação (*Long Range – LR*), sob coordenação dos Centros Coordenadores de Busca e Salvamento (*Rescue Coordination Centres – RCC*), marítimos e aéreos e em conjunto com unidades navais da Marinha, navios mercantes e outros meios presentes.

3.4.2 C-295M

Segundo o (CONOPS C-295M, 2006), o sistema de armas C-295M desempenha ações aéreas, em quaisquer condições meteorológicas, de dia ou de noite, e numa vasta variedade de ambientes. À Esquadra de Transporte Aéreo 502 estão atribuídas doze (12) aeronaves, todas elas aptas a efetuar missões do tipo MEDEVAC.

As tarefas operacionais para a implementação da aeronave na FA são as seguintes:

- Executar missões atribuídas, em tempo de paz, crise ou guerra, em ambientes hostis, em condições de tempo normais ou adversas, de dia ou de noite;
- Executar operações de Transporte Aéreo Tático e de Transporte Aéreo Geral;
- Apoiar missões humanitárias, de interesse público e de manutenção da ligação entre Portugal continental e ilhas;
- Garantir a prontidão da força para destacar para o TO;
- Apoiar o comandante operacional no sentido de estabelecer e sustentar a força garantindo a continuidade de operações dentro do TO;
- Instruir e treinar pessoal para a missão;
- Conduzir operações de evacuação sanitária movimentando pessoal, debaixo da supervisão médica adequada, para/entre infraestruturas de tratamento médico e hospitalar;
- Apoiar operações psicológicas de desgaste da base política, social e económica do inimigo, conduzidas de forma a afetar a vontade da população civil e forças combatentes do inimigo;

- Apoiar as autoridades, civis e militares, no reconhecimento e vigilância do ambiente marítimo de superfície e do espaço litoral;
- Executar missões de Busca e Salvamento;
- Executar missões de Reconhecimento e Fotografia Aérea.

As missões consideradas para este sistema de armas são as seguintes:

- a. Transporte Aéreo Geral (Estratégico e Tático).
- b. Apoio a Operações de Forças Especiais: aptidão para desenvolver missões de apoio à paz ou missões em tempo de paz, visando também a interdição de tráfico de droga, imigração ilegal, contrabando ou ações de antiterrorismo e proporcionando informação relevante para o processo de tomada de decisão do comandante.
- c. Busca e Salvamento (SAR) e de Busca e Salvamento de Combate (*Combat Search and Rescue* – CSAR).
- d. Operações de Evacuação Sanitária.
- e. Vigilância Marítima: aptidão para desenvolver ações de fiscalização de embarcações pesqueiras, com o intuito da proteção de recursos vivos, dando cumprimento à regulamentação de pesca, nacional e comunitária; preservar os recursos marinhos e zelar pelo cumprimento da regulamentação *Maritime Pollution* (MARPOL); fiscalizar embarcações e navios envolvidos em contravenções dos direitos alfandegários, tráfico de estupefacientes e imigração ilegal; desenvolver ações de vigilância e fiscalização sobre embarcações e navios inseridos nos corredores de tráfico marítimo dando cumprimento à regulamentação deste contexto.

- f. Reconhecimento e Fotografia Aérea: ações de reconhecimento fotográfico de alvos pré-definidos e de atividades relacionadas com interesses civis e militares, nomeadamente o apoio à cartografia militar.
- g. Instrução de Multi-motores: ministrar ações de formação, em terra e em voo, de acordo com os programas curriculares definidos superiormente.

3.4.3 EH-101 MERLIN

Segundo o (MFA 505-1, 2010), o sistema de armas EH-101 desempenha ações aéreas, em quaisquer condições meteorológicas, de dia ou de noite, e numa vasta variedade de ambientes. À Esquadra 751 estão atribuídas doze (12) aeronaves das quais duas (2) estão adstritas a missões do Sistema Integrado de Vigilância, Fiscalização e Controlo das Atividades da Pesca (SIFICAP), seis (6) estão dedicadas a operações de SAR e quatro (4) a missões de Mobilidade e Recuperação de Combatentes. Todas as aeronaves estão aptas a efetuar missões do tipo MEDEVAC.

As tarefas operacionais para a implantação da aeronave na FA são as seguintes:

- Executar missões de Busca e Salvamento;
- Conduzir operações de evacuação médica movimentando pessoal, debaixo da supervisão médica adequada, para/entre infraestruturas de tratamento médico e hospitalar;
- Apoiar missões humanitárias, de interesse público e de manutenção da ligação entre locais de Portugal continental e entre ilhas;
- Executar missões atribuídas, em tempo de paz, crise ou guerra, em ambientes permissivos e semi-permissivos em condições de tempo normais ou adversas, de dia ou de noite;

- Executar operações de Transporte Aéreo Tático e de Transporte Aéreo Geral;
- Apoiar o comandante operacional no sentido de estabelecer e sustentar a força garantindo a continuidade de operações dentro do TO;
- Apoiar as autoridades, civis e militares, no reconhecimento e vigilância do ambiente marítimo de superfície e do espaço litoral, no âmbito do SIFICAP.

As missões consideradas para este sistema de armas são as seguintes:

- a. Mobilidade e Assalto: capacidade para participar em ações de proteção de zona, individualmente ou em colaboração com outras Unidades.
- b. Transporte Aéreo Geral (Estratégico e Tático).
- c. Reconhecimento e Apoio: ações de reconhecimento visual em apoio a forças conjuntas e combinadas, individualmente ou em coordenação com outros meios.
- d. Busca e Salvamento.
- e. Operações de Evacuação Sanitária.
- f. Vigilância Marítima.
- g. Extração de Combatentes: em ambiente permissivo e semi-permissivo.

CAPITULO IV – MEIOS DE TRANSPORTE

4.1 Caraterísticas dos meios de transporte

Segundo (Rodrigue, Comtois, & Slack, 2009), os meios de transporte são os meios através dos quais, pessoas e produtos se movem. Podem-se dividir em três grandes grupos: o transporte terrestre, que pode ser rodoviário ou ferroviário, o transporte marítimo e o transporte aéreo. Neste trabalho apenas serão tratados os dois

últimos. (Carvalho, 2010) caracteriza cada meio de transporte através dos seguintes indicadores:

- Capacidade: os meios de transporte diferem em relação à quantidade, tamanho e tipo de mercadorias que podem transportar.
- Preço: o custo do transporte de mercadorias varia proporcionalmente ao peso (toneladas) a transportar e à distância (quilómetros) a percorrer. No transporte marítimo, o custo de transporte depende do número de contentores a utilizar, sendo muito importante a otimização do espaço disponível. Existem ainda outros custos que se podem dever às operações de carga e descarga de material, inventários em trânsito, danos possíveis e taxas alfandegárias. Neste trabalho apenas são tidos em conta os custos de transporte da mercadoria, da origem para um certo destino e as respetivas taxas alfandegárias, se aplicáveis.
- Flexibilidade: meios de transporte com uma maior flexibilidade necessitam de menos manuseamentos adicionais, podendo levar as mercadorias da origem ao destino sem necessidade de recorrer a transbordos.
- Frequência: é importante para qualquer empresa ter ao seu dispor um transporte rápido, pois assim terá a capacidade de realizar entregas mais frequentemente, se necessário.
- Perdas e danos nas mercadorias: representam os principais riscos durante o transporte, principalmente se forem necessárias várias operações de transbordo e de manuseamento da carga.
- Tempo de Trânsito: é o tempo médio que se demora a movimentar determinada mercadoria da origem para o destino final. Os transbordos,

por exemplo, fazem aumentar o tempo de trânsito, podendo levar a atrasos nas entregas.

Este trabalho, debruçando-se maioritariamente sobre o transporte de mercadorias ao nível internacional a longas distâncias, recorre a meios de transporte aéreo e marítimo, que se detalham de seguida.

4.2 Transporte aéreo

O transporte aéreo é o mais rápido de todos os transportes, mas acarreta elevados custos, o que leva a que seja visto como um meio de transporte a utilizar em encomendas urgentes. O transporte aéreo confere uma grande flexibilidade de modo a responder rapidamente à variabilidade e condicionantes do mercado.

A rapidez deste meio proporciona, regra geral, um serviço frequente e fiável. Contudo, este pode ser prejudicado pelo congestionamento dos aeroportos, pelos processos de manuseamento de cargas e descargas e pelas obrigações alfandegárias (Rushton, Croucher, & Baker, 2006). Mesmo assim, e com o crescimento e maior competitividade do mercado, o transporte aéreo tem vindo a adquirir uma crescente importância no planeamento do transporte de mercadorias nas empresas. Este facto tem vindo a assumir destaque desde o final do século passado (Lambert, Stock, & Ellram, 1998). O meio aéreo é também frequentemente recomendado para o transporte de produtos de alto valor, pois, o alto frete refletido no preço do produto poderá representar uma grande percentagem do custo total do produto, se este for de baixo valor. O transporte aéreo é ainda vantajoso em produtos com características específicas de peso, dimensão, urgência e elevado valor. Já (Bowersox & Closs, 1996) apontam as principais características dos produtos para os quais se aconselha a utilização da via aérea:

- bens de grande valor (que conduziriam a significativos custos de capital empatado, quando comparados com o custo de transporte);
- bens perecíveis e urgentes (para os quais a rapidez de transporte é fundamental);
- produtos com reduzido ciclo de vida (por exemplo, produtos informáticos);
- componentes com características técnicas que impossibilitam o seu transporte por via marítima (por, exemplo, componentes elétricos).

4.3 Transporte marítimo

O congestionamento das estradas, o crescimento populacional e a eliminação das barreiras comerciais são alguns dos fatores que contribuíram para a expansão dos transportes marítimos (Barnhart & Laporte, 2007).

O transporte marítimo revela-se a alternativa mais económica, principalmente para cargas a granel ou de grande volume e peso, e que necessitem de percorrer grandes distâncias em que o fator rapidez do transporte não seja fundamental. (Chopra & Meindl, 2012) dizem que a via marítima é a modalidade mais utilizada a nível internacional. A grande capacidade de acomodar grandes quantidades de carga de vários tipos é outra das vantagens deste meio.

A velocidade do transporte marítimo é bastante lenta, originando um elevado tempo de trânsito. Existem ainda outros fatores que podem levar a possíveis atrasos, tais como: operações de carregamento e de transbordo, condições climáticas adversas que podem provocar serviços irregulares e ao aumento do tempo de percurso (Rushton, Croucher, & Baker, 2006). O transporte marítimo não é adequado para cargas sensíveis a grandes variações de temperatura e humidade.

A utilização de contentores por parte do transporte marítimo permite que pequenas embalagens de produtos possam ser consolidadas numa única unidade de carregamento, permitindo a obtenção de economias de escala, a simplificação dos processos de carga e descarga e a diminuição da ocorrência de danos, melhorando assim todos os processos de uma forma global (Rushton, Croucher, & Baker, 2006).

4.4 Via aérea vs. Via marítima

A Tabela 1 compara as principais características dos meios de transporte aéreo e marítimo. Estas características isoladas são em muitos casos combinadas, surgindo assim os conceitos de multimodalidade e de intermodalidade.

	Via Aérea	Via Marítima
Custo	Elevado	Reduzido
Tempo de Trânsito	Reduzido	Elevado
Flexibilidade	Muito flexível	Pouco flexível
Capacidade de carga	Limitada	Elevada devido ao uso de contentores
Frequência do serviço	Frequência razoável	Baixa frequência
Perdas e estragos	Alguma tendência	Reduzida tendência

Tabela 1 – Comparação entre Transporte Aéreo e Marítimo

Fonte: (Carvalho, 2010)

A multimodalidade é definida como “o processo em que o proprietário da carga concorda em movimentá-la pelo menos de dois modos de transporte diferentes, sob um único contrato, um único documento de transporte e sob a responsabilidade de um único operador. O operador é responsável pela carga desde o momento em que toma posse desta e até ao momento da sua entrega” (Devia, 2008). Os principais objetivos

são a redução de perdas de tempo em operações de transbordo e burocracia associada e consequente redução de custos e tempos de trânsito.

No transporte intermodal os bens são transportados numa mesma unidade de transporte, por exemplo, contentores. Não existe assim a necessidade de acondicionar a mercadoria sempre que se troca de modo de transporte, o que reduz os riscos de danos e perdas.

CAPITULO V – MODELO DE OTIMIZAÇÃO EM PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

5.1 Noções de grafos

Muitos problemas de PLI podem ser apresentados através de redes ou grafos. O primeiro problema de teoria dos grafos foi descrito por Leonhard Euler em 1736, ao estudar o problema das pontes de Königsberg. O seu objetivo era atravessar todas as sete pontes sobre o rio Pregol, que uniam a cidade a duas ilhas, passando uma única vez em cada uma delas.

Um grafo (ou rede) é uma estrutura formada por dois conjuntos: um de vértices (ou nodos) e outro de ligações (arcos ou arestas). Um grafo é representado por $G = (N, A)$, em que $N = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de vértices, e $A = \{1, \dots, m\}$ o de ligações. Cada ligação é representada por um par (i, j) , em que $i, j \in N$. Se o problema for orientado, caso em que as ligações opostas, se existirem, representam entidades diferentes ($(i, j) \neq (j, i)$) as ligações denominam-se por arcos. Relativamente ao arco (i, j) , i é o vértice origem ou inicial e j o vértice destino ou final.

Podem referir-se três tipos de grafos:

- Dirigido ou orientado: todas as ligações são dirigidas e denominam-se por arcos,
- Não dirigido ou não orientado: todas as ligações são não dirigidas, e denominam-se por arestas,
- Misto: formado por arestas e arcos.

Um grafo diz-se completo se existir uma ligação entre dois quaisquer dos seus vértices.

5.2 Problema de Transporte

Genericamente, o problema de transporte (PT) consiste em determinar a maneira mais económica de enviar um bem, em quantidades limitadas, de certos locais onde existe para outros locais onde é necessário. Tal problema pode generalizar-se para a resolução do caso prático deste trabalho.

Especificando, o PT tem como objetivo identificar a forma como deve ser feita a distribuição de um certo produto:

- que se encontra disponível em m origens ($i = 1, \dots, m$), em certas quantidades $a_i > 0$ (oferta na origem i);
- e que é necessário em n destinos ($j = 1, \dots, n$), em determinadas quantidades $b_j > 0$ (procura no destino j);
- de modo a satisfazer as suas necessidades nos destinos e esgotando, se necessário, os bens disponíveis em cada origem;
- minimizando o custo total da distribuição desse bem, em que c_{ij} é o custo unitário de transporte da origem i para o destino j .

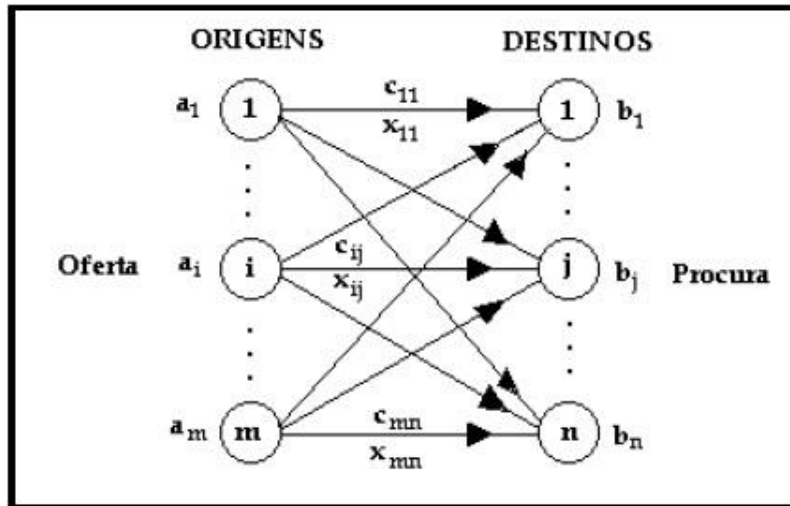


Figura 1. Rede do Problema de Transporte.

A figura 1 representa o problema de transporte num grafo ou rede com m origens e n destinos, ligados entre si por vários arcos, que representam caminhos mais curtos através dos quais o bem pode ser transportado.

Definindo x_{ij} como a quantidade a transportar da origem i para o destino j , e caso a oferta total iguale a procura total (ou seja, $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$), o PT pode ser formulado por:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{restrições de oferta}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{restrições de procura}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

5.3 Modelação do Problema em estudo

Neste capítulo apresenta-se um modelo em programação linear inteira mista que visa determinar os tipos de transporte adequados e as respetivas quantidades a movimentar de diferentes produtos de Portugal para certos locais pré-definidos.

O modelo apresentado tem como objetivo a minimização dos custos totais de transporte de mercadorias de forma a satisfazer a procura num determinado período de tempo. Foram consideradas três alternativas de transporte possíveis: o meio aéreo, que pode ser civil ou militar e o meio marítimo. Definem-se diferentes custos fixos e variáveis dependendo do transporte. As taxas alfandegárias são custos inerentes a todos os meios de transporte, sendo uma percentagem do valor dos produtos a transportar. Estas não foram consideradas no modelo pois não influenciam a escolha dos meios de transporte. O transporte aéreo militar apresenta ainda um custo fixo extra referente à hora de voo. Os custos variáveis dependem do tipo de transporte, sendo calculados de forma diferente se o transporte a utilizar for um meio aéreo civil ou um meio marítimo. Por via aérea, o custo depende do peso da mercadoria, enquanto por via marítima, é influenciado pelo número de contentores utilizados. Existem vários tipos de contentores caracterizados pela sua capacidade.

Assim, o custo total que se pretende minimizar é composto pelos custos de transporte, fixos e variáveis. A otimização do problema recorre a um modelo em que se faz a seleção do melhor modo de transporte garantindo a satisfação da procura. Assume-se um só ponto de partida das mercadorias. De salientar ainda que cada meio de transporte leva um ou vários produtos para um destino, no máximo, existindo, no entanto, diversos meios de transporte do mesmo tipo que poderão ser utilizados, se necessário. Neste caso pode aumentar-se a variação dos respetivos índices.

Seguidamente descreve-se o conjunto de índices, parâmetros e variáveis que compõem o modelo.

- Índices:

- m índice para o tipo de meio, sendo que $m = 1,2,3$ representa um meio aéreo militar, $m = 4$ representa o meio aéreo civil e $m = 5$ o meio marítimo;
- k índice para os produtos a enviar ($k = 1, \dots, K$);
- l índice para o destino para que deverão ser enviados os produtos $l = 1, \dots, L$ ($L \leq 5$).

- Parâmetros temporais:

- t_m^l tempo de voo (em horas) para o destino l pelo meio de transporte m ($m = 1,2,3$).

- Parâmetros quantitativos:

- d_k^l procura do produto k (em paletes) no destino l ;
- CAP_m capacidade de carga (em paletes) do meio m ;
- $CAPV_m$ capacidade em volume (em m^3) do meio m ;
- $CAPT_m$ capacidade de carga (em toneladas, *ton*) do meio m ;
- PC número de paletes por contentor;
- PP_k peso (em toneladas) de uma paleta do produto k ;
- VC_k volume (em m^3) de uma paleta do produto k .

- Parâmetros de custo:

CC_{5k}^l custo de transporte (em euros) de um contentor com mercadoria k pelo meio marítimo $m = 5$ para o destino l ;

CT_{4k}^l custo de transporte (em euros por tonelada) do produto k pelo meio aéreo civil $m = 4$ para o destino l ;

CHV_m custo da hora de voo do meio aéreo militar m ($m = 1, 2, 3$).

- Variáveis de decisão:

X_{mk}^l quantidade (em paletes) enviada pelo meio m para o destino l do produto k ;

$W_m^l = \begin{cases} 1, & \text{se houver envios pelo meio } m \text{ para o destino } l \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

De seguida apresenta-se o modelo geral, através da sua função objetivo e suas restrições.

1)

$$\text{Min} \sum_{l=1}^L \left(\sum_{k=1}^K \frac{CC_{5k}^l}{PC} \cdot X_{5k}^l + \sum_{k=1}^K PP_k \cdot CT_{4k}^l \cdot X_{4k}^l + \sum_{m=1}^3 CHV_m \cdot t_m^l \cdot W_m^l \right)$$

Sujeito a:

2)

$$\sum_{m=1}^5 X_{mk}^l = d_k^l \quad \forall l = 1, \dots, L, \quad \forall k = 1, \dots, K$$

3)

$$\sum_{k=1}^K X_{mk}^l \leq CAP_m \quad \forall l = 1, \dots, L, \quad \forall m = 1, \dots, 5$$

4)

$$\sum_{k=1}^K VC_k \cdot X_{mk}^l \leq CAPV_m \quad \forall l = 1, \dots, L, \quad \forall m = 1, \dots, 5$$

5)

$$\sum_{k=1}^K PP_k \cdot X_{mk}^l \leq CAPT_m \quad \forall l = 1, \dots, L, \quad \forall m = 1, \dots, 5$$

6)

$$\sum_{k=1}^K X_{mk}^l \leq M \cdot W_m^l \quad \forall m = 1, \dots, 5, \quad \forall l = 1, \dots, L$$

7)

$$\sum_{l=1}^L W_m^l \leq 1 \quad \forall m = 1, \dots, 5$$

8)

$$X_{mk}^l \geq 0 \quad \forall l = 1, \dots, L, \quad \forall k = 1, \dots, K, \quad \forall m = 1, \dots, 5$$

9)

$$W_m^l \in \{0, 1\} \quad \forall m = 1, \dots, 5, \quad \forall l = 1, \dots, L$$

O modelo acima apresentado tem como objetivo a minimização dos custos de transporte por via aérea e marítima. A função objetivo (1) representa então as parcelas associadas a cada um desses custos. Por simplificação usa-se a unidade “paleta”, mesmo para o meio marítimo.

As restrições (2) fazem com que a quantidade de paletes enviadas de um determinado produto k pelos diferentes meios para o destino l , seja igual à procura desse produto nesse mesmo destino. A quantidade de paletes a transportar não poderá exceder a capacidade de carga em paletes do meio m , requisito que é garantido pelas restrições

(3). As restrições (4) dizem que o volume total de paletes a transportar dos diversos produtos para cada destino l não pode exceder a capacidade, em volume, do meio m . As restrições (5) impõem que o peso (em toneladas) do total de paletes a transportar pelo meio m , para o destino l , tem de ser inferior ou igual à capacidade de carga (em toneladas) desse meio. As restrições (6) garantem que são enviadas paletes para um destino l pelo meio m caso esse meio seja afeto a esse destino (caso em que $W_m^l = 1$) em que M é um valor suficientemente grande. As restrições (7) garantem que cada meio é afeto, no máximo, ao transporte de mercadoria para uma cidade. Por fim, as restrições (8) e (9) definem o domínio das variáveis de decisão.

5.4 Aplicação do Modelo na Resolução do Problema

O modelo foi formulado no *Solver* do *Excel* para o teste da sua validade (ver ANEXOS I a IV). Foi criado um cenário em que seria necessário um certo número de paletes de dois produtos (p_{01}, p_{02}) (ver Anexo IV, Quadro 11), em três destinos diferentes (Madrid, Berlim, Los Angeles). As capacidades identificadas para cada meio (ver Anexo I) foram utilizadas para a escrita das restrições de carga a transportar (em número de paletes, volume e peso).

Com base na publicação (INE, 2013), soube-se que o custo médio em euros por contentor exportado (CC_{5k}^l) , pelos meios marítimos, durante o ano de 2012 foi de €23.100,00. Este valor, dividido pelo número de paletes que cabem num único contentor (PC) , e multiplicando pelo número total de paletes enviadas de produto (X_{5k}^l) , origina a primeira parcela da função objetivo. O custo total das toneladas enviadas pelo meio aéreo civil é dado pela segunda parcela da função objetivo. Segundo o (INE, 2013), o custo médio em euros por tonelada exportada (CT_{4k}^l) durante o ano de 2012 foi de

€3.300,00. Este valor é então multiplicado pelo número de toneladas que uma paleta pode transportar (PP_k), neste caso considera-se duas toneladas, e multiplicado novamente pelo número total de paletes enviadas de produto (X_{4k}^l). A última parcela da função objetivo representa o custo total do transporte através dos meios aéreos militares, tendo em conta o custo unitário da hora de voo de cada uma delas (CHV_m) e o tempo que cada aeronave demora a chegar ao seu destino (t_m^l).

Resolvido o programa pelo *Solver*, podemos concluir que para satisfazer a procura do Produto 1 iríamos enviar 1 paleta para Madrid através do meio $m=1$, 2 paletes para Los Angeles através do meio $m=4$ e 3 paletes para Berlim através do meio $m=5$. Para satisfazer a procura do Produto 2 é necessário enviar para Madrid 5 paletes através do meio $m=1$ e 1 paleta através do meio $m=2$, 5 paletes para Los Angeles através do meio $m=4$ e 3 paletes para Berlim através do meio $m=5$. As variáveis ($W_m^l = 1$) identificam os meios a utilizar no transporte para os diferentes destinos. Para este cenário o custo total do transporte seria de €76.093,65.

CAPITULO VI – CONCLUSÕES E INVESTIGAÇÕES FUTURAS

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo matemático em programação linear inteira mista com vista à identificação e otimização do transporte de mercadorias por diferentes meios de transporte.

Como a FA é uma organização sem fins lucrativos, a diminuição dos custos possibilita a realização das missões a que foi confiada de uma forma mais eficiente e expedita, e aproveitando da melhor forma possível o OE disponibilizado.

Neste modelo reuniu-se assim, algumas das principais condicionantes da gestão de transportes, que são, o meio de transporte a utilizar e o cumprimento dos pedidos de materiais. Com este modelo tem-se uma melhor visão dos vários cenários possíveis,

facilitando assim a tomada de decisão de uma forma mais célere e mais fundamentada. Assim, o modelo determina o tipo de transporte mais adequado a utilizar de forma a movimentar produtos de todo o tipo, satisfazendo uma procura previamente definida.

A FA e as pessoas com quem falei da organização mostraram-se interessadas em ajudar desde o início, facultando todos os documentos relativos às aeronaves de transporte e às suas capacidades. A principal limitação surgiu por parte das empresas de transporte civis identificadas e na obtenção de dados e métodos de custeio.

Este trabalho poderá ser aplicado, com as devidas alterações, quer aos outros ramos das FAA, nomeadamente, Marinha e Exército, quer a outras organizações civis. No futuro, o modelo pode ser ampliado por forma a abranger outros tipos de transporte, tais como, o transporte rodoviário e ferroviário, podendo ainda vir a incorporar a movimentação de pessoas.

A realização deste trabalho deu ao discente uma visão mais ampla, não só no que toca ao funcionamento da FA, mas também uma melhor compreensão acerca do funcionamento e movimentação de mercadorias por parte das transportadoras civis. Outra vantagem é a possível automatização de partes importantes do processo de decisão da FA, no que respeita ao transporte de materiais para os TOs.

REFERÊNCIAS

- Ackoff, R. L., & Sasieni, M. W. (1974). *Fundamentals of Operation Research*. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- Andrade, E. L. (2009). *Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões* (4ª ed.). Rio de Janeiro: Editora LTC.
- Arenales, M. et al. (2007). *Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia*. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics: Supply Chain Management* (5th ed.). Singapore: Pearson Prentice Hall.
- Barnhart, C., & Laporte, G. (2007). *Handbooks in Operations Research & Management Science: Transportation*. Amsterdam: North-Holland.
- Bowersox, D. J., & Closs, D. J. (1996). *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. Singapore: McGraw-Hill Publishing Company.
- Carvalho, J. C. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Lisboa: Edições Silabo.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2012). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (5th ed.). Singapore: Pearson Prentice Hall.
- Christopher, M. (2011). *Logistics and Supply Chain Management* (4th ed.). United Kingdom: Prentice Hall.
- CONOPS C-295M. (Fevereiro de 2006). *Conceito de Operações para o Sistema de Armas C-295M*.

- Costa, M. (2012). *Motivação e Satisfação na Força Aérea Portuguesa*. Trabalho Final de Mestrado, Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa.
- Daskin, M. S. (1985). Logistics: An Overview of the State of the Art and Perspectives on Future Research. *Transportation Research*, 19A, 383-398.
- Devia, N. M. (2008). *The Multimodal Transport System in the Andean Community: An Analysis from a Legal Perspective*. Rotterdam: Erasmus Universiteit.
- Diretiva n.º 4/CEMFA/13. (20 de Fevereiro de 2013). Diretiva de Planeamento da Força Aérea.
- Doron, R., & Parot, F. (2001). *Dicionário de Psicologia*. São Paulo: Atica.
- Graciolii, O. (1998). *Dimensionamento e Otimização e Sistemas de Distribuição Física de Produtos - Um Enfoque Contínuo*. Tese de Doutoramento, UFSC, Santa Catarina.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research* (9th ed.). New York: McGraw-Hill Publishing Company.
- INE. (2013). *Estatísticas dos Transportes e Comunicações*. Lisboa.
- ISEG. (2012). *Guia para a Elaboração de Trabalho Final de Mestrado*. Obtido de <https://aquila4.iseg.ulisboa.pt/aquila/getFile.do?method=getFile&fileId=262697>.
- Kasilingam, R. G. (1998). *Logistics and Transportation: Design and Planning*. London: Springer Science & Business Media.
- Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, Vol. 29, 65-83.

- Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management* (1st ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Mangan, J., Lalwani, C., Butcher, T., & Javadpour, R. (2011). *Global Logistics and Supply Chain Management* (2nd ed.). London: John Wiley & Sons, Inc.
- MFA 501-1. (Maio de 2009). *Conceito de Operações para o Sistema de Armas C-130H*.
- MFA 505-1. (Janeiro de 2010). *Conceito de Operações para o Sistema de Armas EH-101*.
- Mitchell, T. R. (1982). Motivation: New Directions for Theory, Research, and Practice. *Academy of Management Review*, 7(1), 80-88.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2009). *The Geography of Transport Systems*. New York: Taylor & Francis.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2006). *The Handbook Of Logistics & Distribution Management*. London: Kogan Page Publishers.
- Saleem, R., Mahmood, A., & Mahomood, A. (2010). Effect of Work Motivation on Job Satisfaction in Mobile Telecommunication Service Organizations of Pakistan. *International Journal of Business and Management*, Vol. 5, 213-222.
- Santos, C. L. (2012). *Um Modelo de Gestão Logística para a Força Aérea no Âmbito das Missões NATO*. Trabalho Final de Mestrado, Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa.
- Taha, H. A. (2010). *Operations Research: An Introduction* (9th ed.). Arkansas: Prentice Hall.

Tseng, Y.-y., Yue, W. L., & Taylor, M. P. (2005). The Role of Transportation in Logistics Chain. *Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5*, 1657-1672.

Zografos, K. G., & Giannouli, I. M. (2002). Emerging Trends in Logistics and their Impact on Freight Transportation Systems: A European Perspective. *Transportation Research Record, Paper N°. 02-4177*, 36-44.

ANEXOS

ANEXO I – Capacidades

	Em número de paletes	Em volume (m3)	Em peso (Toneladas)
Configuração C2	6	76	18
Configuração CP2	5	62	
Configuração CP3	4	48	
Configuração CP4	3	35	
Configuração CP5	2	22	
Configuração P1	1	9	

Quadro 1: Capacidade do meio militar m=1

	Em número de paletes	Em volume (m3)	Em peso (Toneladas)
Configuração 1	5	58	9
Configuração 2	4	46	
Configuração 3	3,5	40	
Configuração 4	3	34	
Configuração 5	2,5	29	
Configuração 6	2	23	
Configuração 7	1,5	17	
Configuração 8	1	11	

Quadro 2: Capacidade do meio militar m=2

	Em número de paletes	Em volume (m3)	Em peso (Toneladas)
Configuração 1	2	24	4
Configuração 2	1	12	

Quadro 3: Capacidade do meio militar m=3

	Em número de paletes	Em volume (m3)	Em peso (Toneladas)
Configuração única	21	293	46

Quadro 4: Capacidade do meio aéreo civil m=4 (Airbus A300)

	Em número de paletes	Em volume (m3)	Em peso (Toneladas)
Contentor tipo 2 (40" HC)	6	76	26

Quadro 5: Capacidade do meio marítimo m=5

Paleta padrão completa	Em volume (m3)	Em peso (Toneladas)
	12	2

Quadro 6: Capacidade de uma paleta padrão completa

ANEXO II – Custos

Meio militar	Custo da hora de voo (€)
m=1	4653
m=2	2043
m=3	4758

Quadro 7: Custo da hora de voo dos meios militares

Meio aéreo civil	Custo médio em € por tonelada exportada
m=4	3300

Quadro 8: Custo médio em euros por tonelada exportada

Meio marítimo	Custo médio em € por tonelada exportada	Custo médio em € por contentor exportado
m=5	879	23100

Quadro 9: Custo médio em euros por tonelada e por contentor exportado

ANEXO III – Tempos de viagem (Portugal-Destino)

Destino	Tempo de viagem em horas do meio m=1	Tempo de viagem em horas do meio m=2	Tempo de viagem em horas do meio m=3
AMSTERDÃO	3,41	4,55	7,78
ANKARA	6,55	8,74	14,94
ATENAS	5,22	6,96	11,89
BARCELONA	1,84	2,46	4,2
BERLIM	4,23	5,65	9,65
BRUXELAS	3,14	4,18	7,15
COPENHAGA	4,54	6,05	10,34
DALLAS	13,95	18,61	31,79
ESTOCOLMO	5,47	7,3	12,47
FRANKFURT	3,46	4,62	7,89
HELSÍNQUIA	6,15	8,21	14,02
LONDRES	2,90	3,87	6,61
LOS ANGELES	16,70	22,27	38,05
MADRID	0,92	1,23	2,1
MUNIQUE	3,60	4,8	8,2
NOVA IORQUE	9,93	13,24	22,62
OSLO	5,01	6,69	11,43
PARIS	2,66	3,55	6,07
RIO JANEIRO	14,12	18,84	32,18
ROMA	3,41	4,55	7,77
SÃO PAULO	14,55	19,41	33,15
TRONDHEIN	5,57	7,43	12,69
ZURIQUE	3,15	4,21	7,19

Quadro 10: Tempos médios de viagem aérea entre Portugal e o destino *l*

ANEXO IV – Restrições, Dados e Resultados do Modelo

	p01	p02		Procura	p01	p02
Madrid	1	6	=	Madrid	1	6
Berlim	3	3	=	Berlim	3	3
Los Angeles	2	5	=	Los Angeles	2	5

Quadro 11: Restrições de procura dos produtos p01 e p02 nos respectivos destinos em paletes

Quantidade de produtos a enviar pelo			Capacidade do	
meio m	∀ destino		meio m	em paletes
1	6	<=	1	6
2	1	<=	2	5
3	0	<=	3	2
4	7	<=	4	21
5	6	<=	5	6

Quadro 12: Restrições de capacidade em paletes do meio m

Volume (m3) máximo ocupado por palete do produto	
p01	p02
12	12

Quadro 13: Restrições de capacidade em volume (m³) de uma palete do produto p

Volume transportado pelo			Capacidade do	
meio m	∀ destino		meio m	em volume (m3)
1	72	<=	1	76
2	12	<=	2	58
3	0	<=	3	24
4	84	<=	4	293
5	72	<=	5	76

Quadro 14: Restrições de capacidade em volume (m³) do meio m

Peso (ton) máximo por palete do produto	
p01	p02
2	2

Quadro 15: Restrições de capacidade em peso (ton) de uma paleta do produto p

Peso transportado pelo			Capacidade do	
meio m	\forall destino		meio m	em toneladas
1	12	\leq	1	18
2	2	\leq	2	9
3	0	\leq	3	4
4	14	\leq	4	46
5	12	\leq	5	26

Quadro 16: Restrições de capacidade em peso (ton) do meio m

M=	10000								
Destino									
Meio m	Madrid			Berlim			Los Angeles		
1	-9994,00	\leq	0	0,00	\leq	0	0,00	\leq	0
2	-9999,00	\leq	0	0,00	\leq	0	0,00	\leq	0
3	0,00	\leq	0	0,00	\leq	0	0,00	\leq	0
4	0,00	\leq	0	0,00	\leq	0	-9993,00	\leq	0
5	0,00	\leq	0	-9994,00	\leq	0	0,00	\leq	0

Quadro 17: Relação entre as variáveis X e W

p01	Destino				p02	Destino		
meio	Madrid	Berlim	Los Angeles		meio	Madrid	Berlim	Los Angeles
1	1,00	0,00	0,00		1	5,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00		2	1,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00		3	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	2,00		4	0,00	0,00	5,00
5	0,00	3,00	0,00		5	0,00	3,00	0,00
	1,00	3,00	2,00			6,00	3,00	5,00
Há envios para o Destino								
meio	Madrid	Berlim	Los Angeles					
1	1	0	0		1	\leq	1	
2	1	0	0		1	\leq	1	
3	0	0	0		0	\leq	1	
4	0	0	1		1	\leq	1	
5	0	1	0		1	\leq	1	

Quadro 18: Quantidades a transportar em paletes do produto p pelo meio m para os respectivos destinos

FO	76093,65				
CT Contentores		Custo das toneladas		Custo das horas de voo	
23100		46200		6793,65	

Quadro 19: Resultados da Função Objetivo